Curso a distancia para "La generación y el uso eficiente del vapor"
año 2007

Modulo 3-ELEMENTOS QUE AFECTAN LA EFICIENCIA DE LAS CALDERAS

La EFICIENCIA al comprar la caldera

La compra de la caldera es un evento muy importante, ya que **nos "casaremos"** con ella (es decir que una vez comprada, estamos "atados" a su diseño).

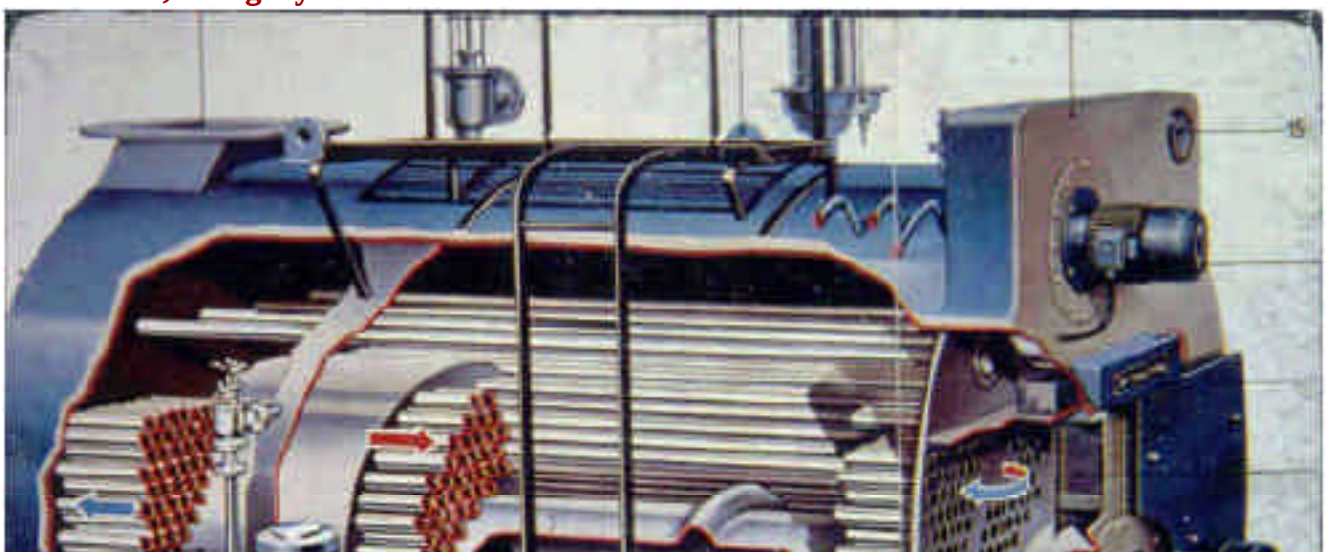
Debemos de partir de la elección de compra, en tener en cuenta todos aquellos elementos necesarios para lograr una **caldera segura**: diseño, construcción y pruebas bajo normas. Dentro de estas normas, una de las más importante es la **potencia de combustión por m3. de hogar**, para estar en **un valor razonable** para evitar problemas de transmisión de calor en la zona del hogar, que generalmente está **en relación a la calidad del agua de reposición.** Este valor generalmente deberá estar por debajo del **1.250.000 Kcal/m3**, dado que cuando el agua de reposición es de mala calidad, alta alcalinidad fundamentalmente, los problemas de **circulación interna del agua** nos acercan al riesgo de colapsar el hogar por una circulación interna del agua que se hace dificultosa o al llegar a ese valor **las condiciones de combustión se hacen difíciles** si el sistema de combustión no reune las características adecuadas a una combustión altamente concentrada.

La otra consideración en la **transferencia por m2**, de superficie de hogar en punto **"pico" o de máximo flujo de transferencia de calor,** ya que compromete la integridad del hogar si la transferencia en dicho punto comprometido pasa de determinado valor (algunas normas lo fijan en **250.000 Kcal/m2** como máximo). **Esto también está ligado a la calidad del agua.**

Además de **exigir** las **Eficiencias** (que deberán expresarse claramente a que Poder calorífico están referidas), habrá que considerar el mantenimiento y reparaciones futuras a que será sometida la caldera. En lugares que hay mala calidad de agua de reposición, la limpieza mecánica de la parte de agua podrá ser importante o donde la contaminación de los condensados así lo ameriten, ya que la **seguridad** y la **Eficiencia** se verá altamente afectada.

Comprar una caldera con diseño inadecuado al agua de reposición podrá ser una muy mala compra.

Queremos decir, que una elevada EFICIENCIA en una caldera es un dato de muchísima importancia, a la cual debemos agregar las consideraciones operativas de marcha normal, riesgo y mantenimiento:



Modulo 3-ELEMENTOS QUE AFECTAN LA EFICIENCIA DE LAS CALDERAS

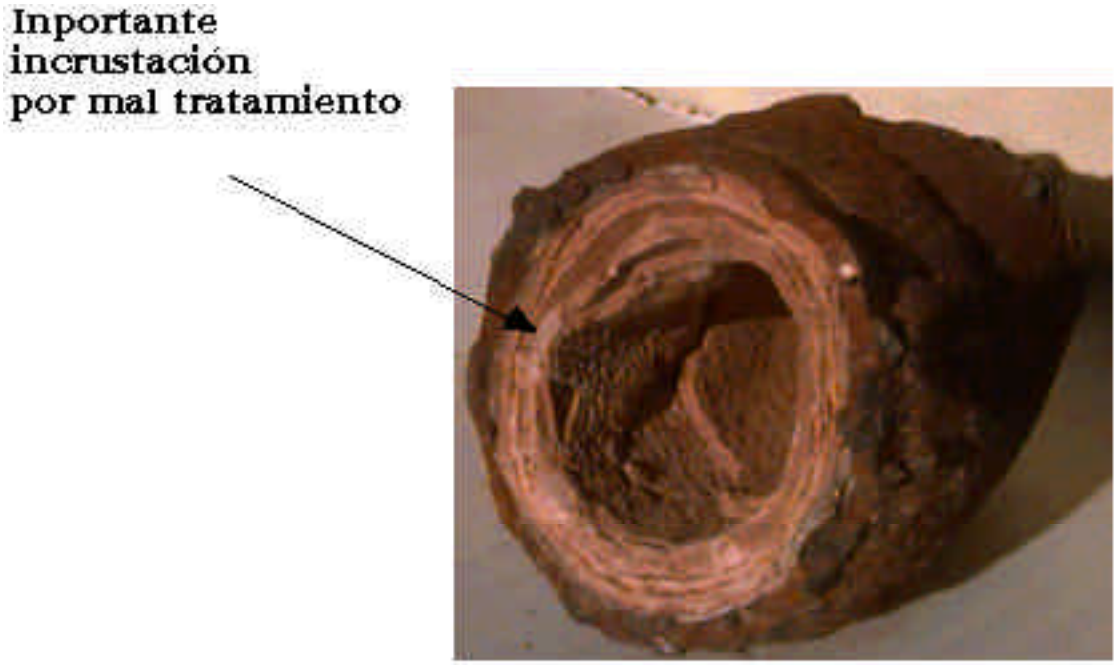
Por ejemplo:

Si la caldera tiene alta EFICIENCIA con la **ayuda** de un **economizador o calentador de aire**, debemos de considerar los **problemas de la corrosión asociada al tipo de combustible:** por ejemplo, si utilizaremos F. Oíl pesado o de calefacción, el tenor de azufre es un problema de suma importancia, ya que si hay zonas frías se producirán corrosiones (por lo general el metal de hierro deberá estar por encima de los 180ºC, salvo que sean construidos de metales más nobles que soporten la corrosión, como ser en algún tipo de acero inoxidable, aunque el único ideal sería a base de titanio o una aleación adecuada). **No solamente el F. Oíl que tiene por lo general azufre que será corrosivo, también la leña y los gases cuando hay mala combustión producen elementos corrosivos del tipo orgánico:** ácidos piroleñosos, etc. . Si es un **economizador**, se deberá **precalentar** el agua de circulación a un mínimo, e igualmente pasará si es un calentador de aire, habrá corrosión en la zona de entrada de aire frío, lo cual muchas veces habrá que precalentar el aire frío.

Con los **precalentadores de aire**, se logra una aumento de la Eficiencia, no solamente por la recuperación de calor en los gases de chimenea, sino que por lo general, el aire caliente se utiliza en la propia caldera como aire de combustión, que por lo general **mejora la combustión** (en algunos combustibles, como la leña es muy importante, ya que se logra bajar el exceso de aire y se logra quemar leña con un tenor de humedad mayor).

La recuperación con un calentador de aire o un economizador es de una incidencia bastante importante en la medida que el mismo actúe sobre la temperatura de chimenea, bajándola en un salto térmico que permita la recuperación de energía perdida (por lo general este salto térmico puede ser unos 80ºC a 120ºC, lo que permite una recuperación de 4% a 6%, valores que como veremos muchas veces perdemos por el exceso de aire o el ensuciamiento de la caldera con hollín, cosa que se minimiza al usar aire precalentado para la combustión).

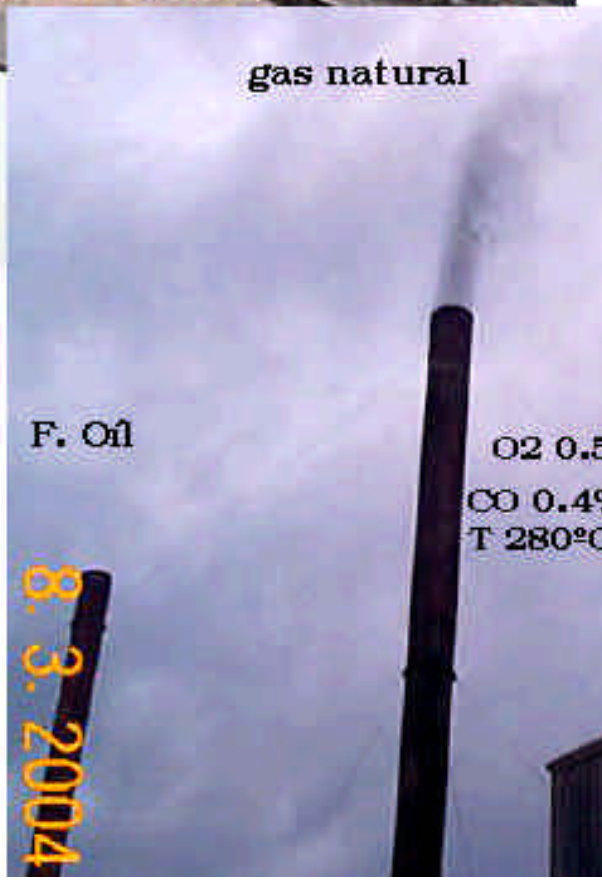
La instalación de economizadores y precalentadores de aire, provocan un agrandamiento real del potencial de generación de la caldera, ya que produciremos más vapor con la misma cantidad de combustible.



(más peligroso que el problema del hollín, ya que permiten el recalentamiento local del metal). Ambos problemas son a tener muy en cuenta, ya que la caldera deberá tener buenos accesos para la limpieza de dichas superficies (aunque del lado del agua en la actualidad se utilizan más las limpiezas químicas que las limpiezas mecánicas, pero es muy aconsejable los mangueréados periódicos y la inspección visual al hacerlo).

Generalmente el ensuciamiento de hollín produce la mayor pérdida de EFICIENCIA, ya que el hollín es muy aislante (la pérdida puede ser de más del 15%), **esta pérdida aparece expresada en la elevación de la temperatura de los gases en la chimenea**, muchas veces en pocas horas de mala combustión la caldera se ensucia. La **pérdida debida a las incrustaciones**, que por lo general se notan en largos períodos de marcha, la temperatura de chimenea sube poco a poco. **En el caso del hollín se nota la diferencia después de cada limpieza de hollín**, pero en el caso de las incrustaciones, como la limpieza química no es algo aconsejable que se haga frecuente, ya que agrede algo a la caldera y tiene un costo muy importante, será difícil poder constatar la diferencia, salvo que se lleve un historial y **que siempre se comparen iguales condiciones de caldera**.

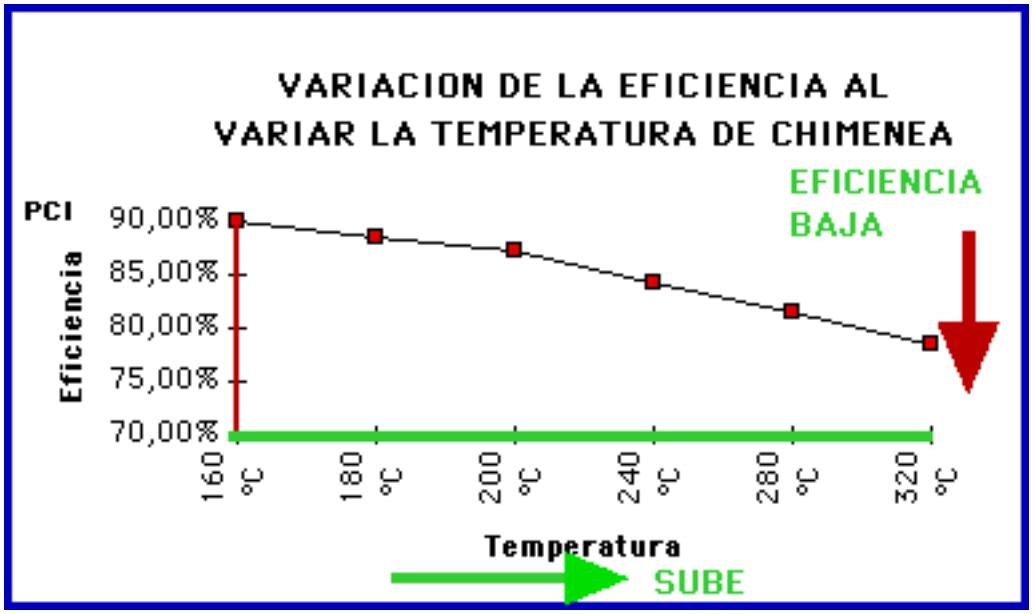
Modulo 3-ELEMENTOS QUE AFECTAN LA EFICIENCIA DE LAS CALDERAS



Los economizadores y los precalentadores de aire, del lado de los gases, la limpieza con un sistema de agua caliente, dá buenos resultados (en estos casos hay que elevar el PH de

Modulo 3-ELEMENTOS QUE AFECTAN LA EFICIENCIA DE LAS CALDERAS

EFICIENCIA DE COMBUSTIÓN (y TRANSFERENCIA) AL PCI VARIANDO LA TEMPERATURA DE CHIMENEA (leña con 25% humedad en b.h., 13%CO2 y 0% CO, significa un exceso de aire aprox. del 50%, temperatura ambiente 20ºC, con una presión de trabajo de 10 Kg/cm2) y **producción de vapor constante**.

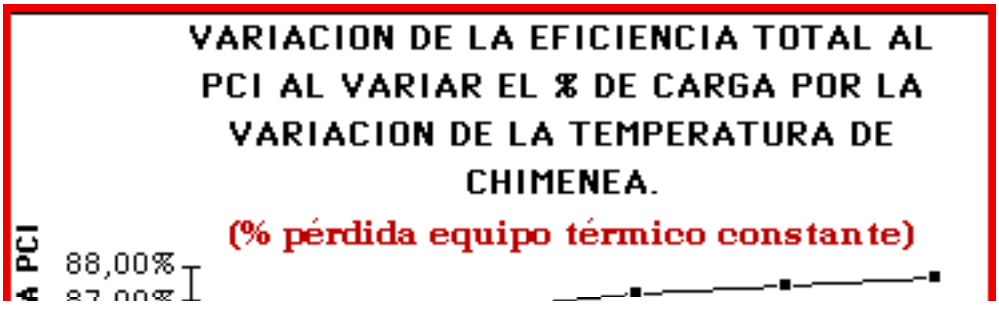


Veremos que las pérdidas dependerán no solo de la temperatura, sino de la **composición de los gases**, es decir, en el caso de la leña la humedad de la misma influye en gran forma, ya que el calor latente y sensible del vapor de agua es bastante más alto que la de los otros gases : CO2, N2, etc..

Por ejemplo: en el caso de **F. Oíl pesado**, podemos calcular las pérdidas en gases de chimenea respecto a la transferencia (hollín e incrustaciones) y la **incidencia del % de carga** en la temperatura de chimenea :

A medida que la caldera aumenta su carga o sea su % de producción, la temperatura de chimenea sube y con ello la pérdida por COMBUSTIÓN Y TRANSFERENCIA (o sea disminuye la EFICIENCIA DE COMBUSTIÓN Y TRANSFERENCIA).

En la gráfica siguiente, la hemos trazado, utilizando una caldera del F. Oíl pesado, en el que hemos supuesto que si bien la carga ó % de producción, hace variar la EFICIENCIA como equipo térmico, **la hemos dejado constante,** es decir**, hemos supuesto que la EFICIENCIA de la caldera como equipo térmico no varía, a los efectos de ver la incidencia de la temperatura de chimenea en forma exclusiva.**


VARIACION DE LA EFICIENCIA TOTAL AL PCI AL VARIAR EL % DE CARGA POR LA VARIACION DE LA TEMPERATURA DE CHIMENEA.
(% pérdida equipo térmico constante)
88,00%

Curso a distancia para "La generación y el uso eficiente del vapor"
año 2007

Modulo 3-ELEMENTOS QUE AFECTAN LA EFICIENCIA DE LAS CALDERAS

Podemos decir que la EFICIENCIA TOTAL de una caldera es el producto de le EFICIENCIA DE COMBUSTIÓN Y TRANSFERENCIA por la EFICIENCIA DE LA CALDERA COMO EQUIPO TÉRMICO.

Por ejemplo: cuando decimos que la caldera tiene una EFICIENCIA COMO EQUIPO TÉRMICO de **99%** (con las purgas cerradas, a una presión de 10 Kg/cm2, este valor es importante ya que define el salto térmico con la atmósfera de la sala de calderas), **estamos diciendo que el 1% del calor que se ha dejado en la caldera o perdido a la sala de calderas** (del calor total del combustible menos el calor perdido por la chimenea) **se pierde por la aislación** (y tapas), **de la caldera al ambiente cuando la caldera está al 100% de su capacidad** (en condiciones standard de la atmósfera)**.** Pero si bien ese valor **aparentemente tan bajo en %**, **es porque en realidad está referido a la máxima capacidad de calor**, pero la eficiencia de la caldera tendrá **un máximo de EFICIENCIA TOTAL** que generalmente se encuentra **próximo** a cuando la caldera **funciona al 70%** de su capacidad, **dado que la temperatura de chimenea baja al bajar la carga de marcha, pero luego la pérdida por efecto de la EFICIENCIA TÉRMICA aumenta en % al disminuir la carga referida al calor suministrado** (las pérdidas térmicas son constantes, dependen de la presión de trabajo y de las condiciones ambientes, además de considerar purgas y pérdidas de agua y vapor cuando la caldera se considere en marcha normal) **, estos dos efectos opuestos, hace que la EFICIENCIA Total a un 70% de capacidad de la caldera sea por lo general la mejor.**

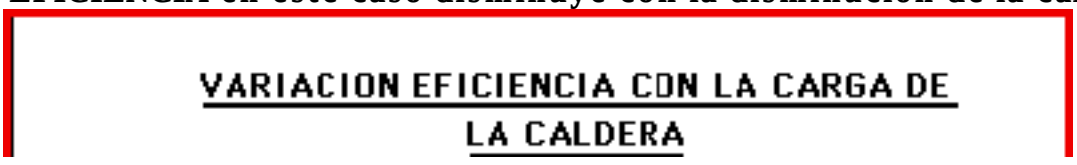
Aquí no solo el diseño de la caldera influye, sino que la capacidad a la cual es utilizada en la vida real es muy importante.

Esto afectaba mucho a las calderas antiguas, que tenían una gran dimensión en relación a su capacidad de generación, que yo he llamado "efecto edificio", es decir, cuando más grande es el tamaño de la caldera en referencia a su capacidad, como ocurre con la calderas antiguas, menor será su EFICIENCIA TÉRMICA o mayor su pérdida a la sala de caldera.

Con esto queremos decir que cuando compramos una caldera, **debemos de tratar de trabajar en el entorno de su máximo rendimiento** (lo mismo pasa con la marcha de los automóviles, cuya máxima velocidad de economía anda a los 90 Klm/h a 110 Klm/h, aún cuando el auto tiene otras velocidades de economía en otros parámetros, pero las curvas de consumos se cruzan por lo general a esa velocidad de marcha).

La gráfica siguiente, se refiere a la alteración de la EFICIENCIA, variando la carga en una caldera que parte de 10.000 Kg/hora, variando su carga hasta los 1.000 Kg/hora. **Aquí hemos dejado la temperatura de chimenea constante, para ver la variación sin que esta interaccione con el resultado.**

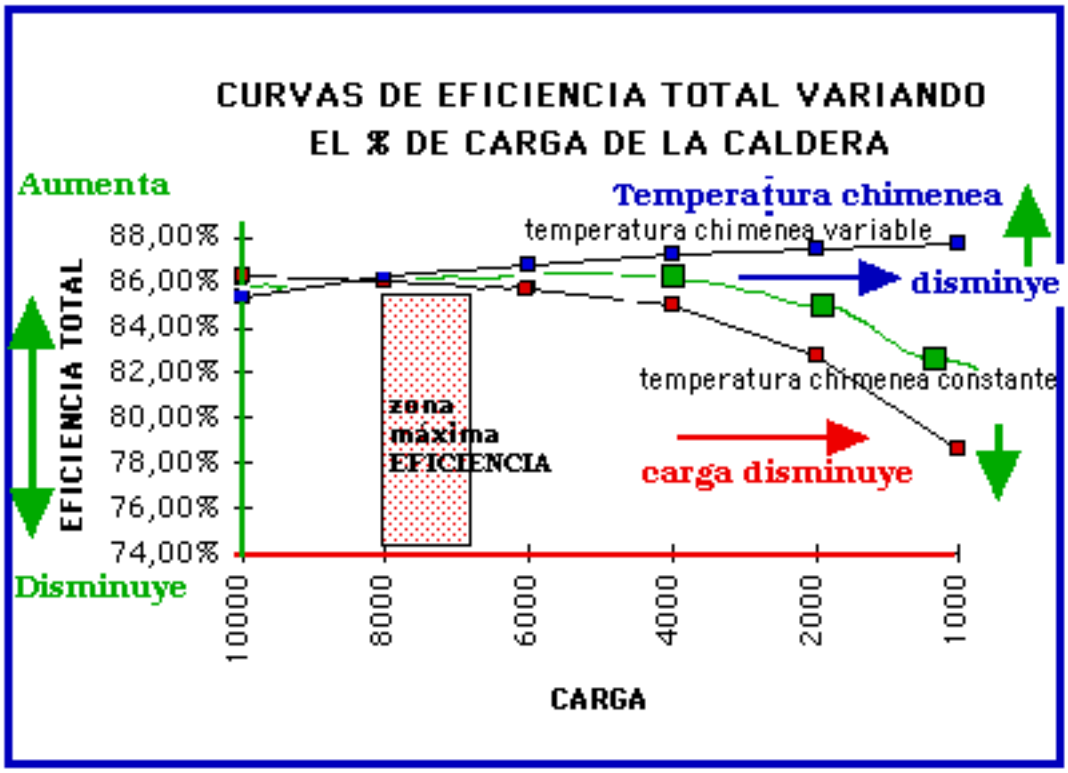
La EFICIENCIA en este caso disminuye con la disminución de la carga.



Modulo 3-ELEMENTOS QUE AFECTAN LA EFICIENCIA DE LAS CALDERAS

Si juntamos las curvas anteriores, **el efecto de ambas se tienden a compensar, pero hay un punto, en la práctica, próximo al 70% en que la EFICIENCIA TOTAL es máxima.**

La Eficiencia Total es la combinación de la Eficiencia como Equipo Térmico (una pérdida constante, que hace disminuir la Eficiencia al bajar el % de carga) y la Eficiencia que varía con el % de carga por la transferencia térmica (aumenta la Eficiencia al bajar el % de carga).
La combinación de ambas, produce que la mejor Eficiencia de la caldera se produce próximo al 70% de la carga.



RESUMIENDO, al comprar una caldera, debemos de tener en cuenta:

Modulo 3-ELEMENTOS QUE AFECTAN LA EFICIENCIA DE LAS CALDERAS

Por ejemplo: **una misma caldera** quemando distintos combustibles tendrá EFICIENCIAS muy diferentes cuando se expresen referidas al P.C.S. , pero si la referimos al P.C.I., ambas serán prácticamente casi iguales, lo cual permite una mejor evaluación de la caldera (no olvidar que las EFICIENCIAS se deben de medir en iguales condiciones de carga, presión de vapor, temperatura agua de alimentación y en lo posible con el mismo exceso de aire).

3-¿Fondo húmedo, semi-húmedo o fondo seco, en calderas humo-tubulares ?

Bien, es evidente que desde el punto de la EFICIENCIA el **fondo húmedo** es el mejor, ya que el 100% del calor del primer pase (hogar cilíndrico) al pasaje del segundo pase (primer pase de tubos) está totalmente sumergido en el agua de la caldera humo-tubular; en el **fondo semi-húmedo** tendremos un poco de pérdida, debido a que por lo general la pared posterior de refractarios con aislación seca estará expuesta a la sala de caldera (hay calderas que pueden tener también paredes de tubos en la parte trasera de la cámara de pasaje), por lo que habrá una menor pérdida de calor a la sala (recordar que cuando hay refractarios debe haber siempre un cierto “enfriamiento” o pérdida de calor, por el ladrillo aislante, de lo contrario todo el refractario estará a la máxima temperatura de la zona expuesta a los gases calientes o combustión, lo que llevará al deterioro de los materiales aislantes y de la estructura con el tiempo).

El fondo seco, ya no es deseable, no solamente por el costo de mantenimiento del refractario, sino por las pérdidas térmicas a la sala de caldera.

Hay que evaluar, que algunas calderas, tienen doble forro, por el que pasa el aire que será utilizado en la combustión, lo cual hace que la pérdida disminuya, ya que el salto térmico entre dicho aire y la sala de caldera, es totalmente aislable por su baja temperatura.

4-La aislación general de la caldera, esto parece un tema menor, **pero es muy importante**, siempre tendremos un salto térmico, especialmente en los meses de invierno, dependiendo además de la velocidad del aire de la sala de calderas, lo cual hace que los 365 días del año estemos perdiendo energía, aún por los accesorios y elementos de seguridad instalados en el cuerpo de la caldera (está de moda poner una **columna hidrométrica o repetidora de nivel de la caldera** con un gran diámetro y lo que provoca una gran superficie expuesta a la sala de caldera, en donde son conectados los controles de nivel, niveles visuales, grifos de purgas, todos estos elementos son superficies de pérdidas radiantes y convectivas. **Creo que si el fabricante de calderas pagara la energía perdida por este sistema al cabo de un año : no lo pondría más.** Por lo que aconsejo que estas columnas repetidoras sean aisladas, con aislación común, cordón aislante o mantas, dando una terminación prolija, pero que aisle esta pérdida).

4-Verificar todos los dispositivos de inspección y limpieza, ya que la caldera para que sea EFICIENTE, debe estar siempre limpia de hollín y de incrustaciones o barros.

5-La presión de trabajo, he aquí todo un tema: las pérdidas a la sala de caldera, cañerías, equipos, etc. estarán en proporción al salto térmico (por más aisladas, además todas las partes expuestas sin aislación, válvulas, platinas, trampas, etc. que estarán

presión, baja a una presión de condensado de retorno próximo a las condiciones atmosféricas), **aquí habrá una pérdida muy importante** (vapor de flash que veremos más adelante como utilizarlo para recuperar dichas pérdidas de calor y agua pura para el retorno a la caldera).

Ver tablas de vapor al final del libro.

6-Calidad del agua disponible. En esta caso también será importante al elegir el tipo o modelo de caldera, **la presión de trabajo más baja posible**, ya que al contemplar la calidad de agua de reposición, dado que es muy diferente el comportamiento de las distintas calderas y sus presiones, tanto en la calidad del vapor deseable,como el régimen de purga (límites máximos disminuyen al aumentar la presión: de T.S.D., PH, Alcalinidades, Sílice, etc) .

Dado que la EFICIENCIA estará también en la problemática de los ciclos de concentración que permite cada caldera, presión y condición deseable del vapor. Es decir, que una caldera humo-tubular, de gran volumen de agua en relación al vapor (por lo general una caldera de reacción lenta), podrá soportar mayor ciclos de concentración del agua de reposición, al poder trabajar con un elevado Total de Sólidos Disueltos (TDS) y otros valores más elevados (lo que disminuye dramáticamente las purgas, tanto continua como de fondo). Los límites de Sólidos en Suspensión, también pueden ser una limitación (aunque hoy en día no es concebible que se trabaje con precipitación interna en la caldera).

Por lo general las calderas acuo-tubulares soportan menos esta condición, más aún cuando trabajan a presiones más elevadas que las calderas humo-tubulares, lo cual obliga a mayores purgas (o sea, se deben trabajar a menores límites fisicoquímicos).

Recordar que el agua de las purgas, se hacen a la presión de trabajo (fundamentalmente las que regulan los ciclos de concentración como la purga continua-no olvidar que hay purgas de fondo o colectores, en las calderas, que no deben hacerse en estas condiciones, especialmente en altas presiones)**, esto significa que el agua de purga tendrá la temperatura del vapor saturado y por supuesto su calor será el correspondiente al agua sobrecalentada** (que habrá que tratar de recuperar en intercambiadores), **pero además estamos perdiendo agua tratada** (ablandada o desmineralizada, que tienen un costo, más los productos químicos para el tratamiento químico interno).

Si la calidad del vapor disponible obliga a una pureza mayor (cualidad), también esto se reflejará en el tipo de caldera y el % de purga (energía perdida). Muchas veces será conveniente buscar la "pureza" del vapor con la instalación de separadores y filtros externos, que tendrán un éxito relativo, ya que además de "gotitas" de agua de caldera en el vapor, pueden haber arrastres de agua o algo más temible como el "priming" (un **arrastre masivo de agua de caldera**, capaz de provocar un **golpe de ariete** en las cañerías sobre los consumos de vapor o un problema más grave, como el colapsado del hogar de la caldera humo-tubular, generalmente este problema está relacionado a niveles de altos consumos de vapor, en momentos que se han rebasados los límites químicos que afectan la tenso-actividad del agua o que haya una contaminación del agua de caldera de un elemento tenso-activo que ha venido en el condensado o por la lineas de vapor al parar la caldera, estos elementos tenso-activos contaminantes podrán ser como la soda o elementos orgánicos del proceso en que se trabaja).

En las páginas siguientes veremos otros aspectos al elegir la caldera, como su combustible, su agua de reposición, su quemador, etc.

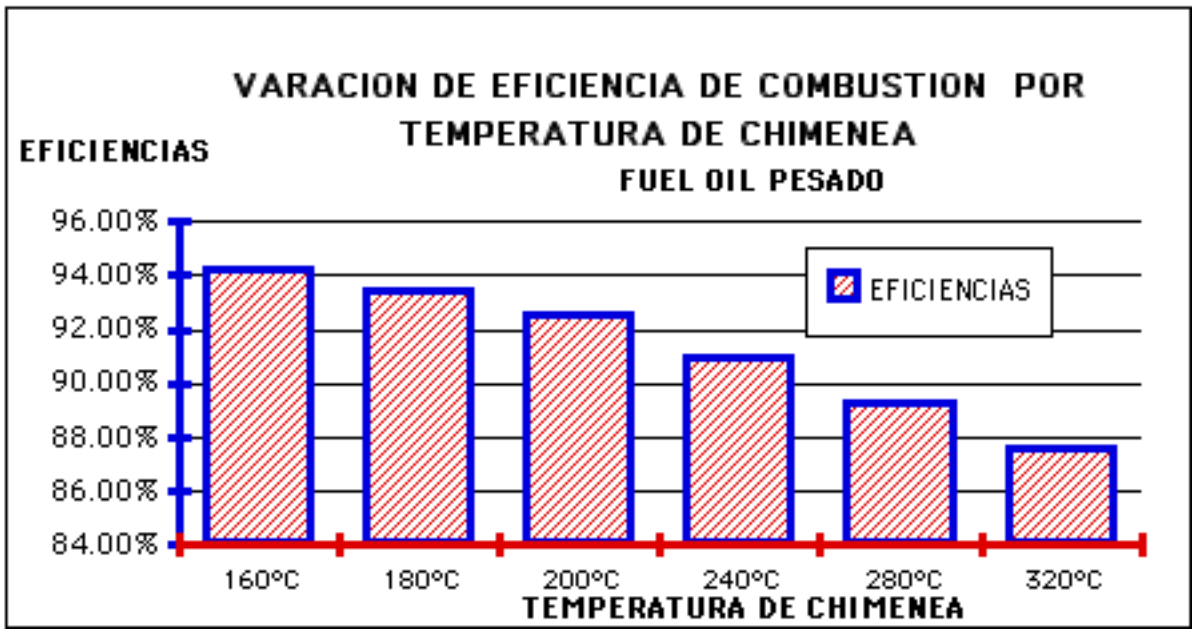
gases calientes **por la chimenea** (el aire y el combustible que forman esos gases se consideran a la temperatura de la sala al tomarlos para su combustión, aunque el combustible en algunos casos se calefacciona de una fuente exterior como ser eléctricamente, pero en la práctica la mayoría de los casos lo tomaremos como se indico al principio) y la segunda es la **pérdida provocada por la caldera como cualquier equipo térmico** (pérdidas de calor por la aislación, por las pérdidas de agua y vapor, incluyendo las purgas necesarias, etc.).

Eficiencia de la combustión:

Si consideramos solamente la evaluación de la primera pérdida (por los gases de chimenea), podemos decir que estamos evaluando la **eficiencia de la combustión**: En este caso estamos considerando el calor que quedó en la caldera, no así el que es transferido realmente al vapor. Comparando mediciones hechas en la misma caldera en un corto tiempo, realmente estamos comparando su calidad de combustión (exceso de aire, gases no quemados, etc.). Si **comparamos calderas distintas o en momentos distantes de una misma caldera**, esta eficiencia de combustión está también juzgando las **condiciones de transferencia** de la superficie de calefacción (sucias de hollín, incrustaciones del lado agua, etc.) y de pérdidas directas al exterior (hogar de refratactario, envueltas refractarias, etc.), pudiendo también considerarse aquellos casos de roturas interiores de elementos que conducen a los gases calientes hacia las superficies de intercambio (bafles, diafragmas, torbellinos,etc.), este caso se nota fundamentalmente por el aumento de la temperatura de los gases en chimenea.

Considero que esta Eficiencia debería llamarse EFICIENCIA DE COMBUSTIÓN Y TRANSFERENCIA.

A mayor temperatura en chimenea, aumenta las pérdidas.



Eficiencia de la caldera como equipo térmico:

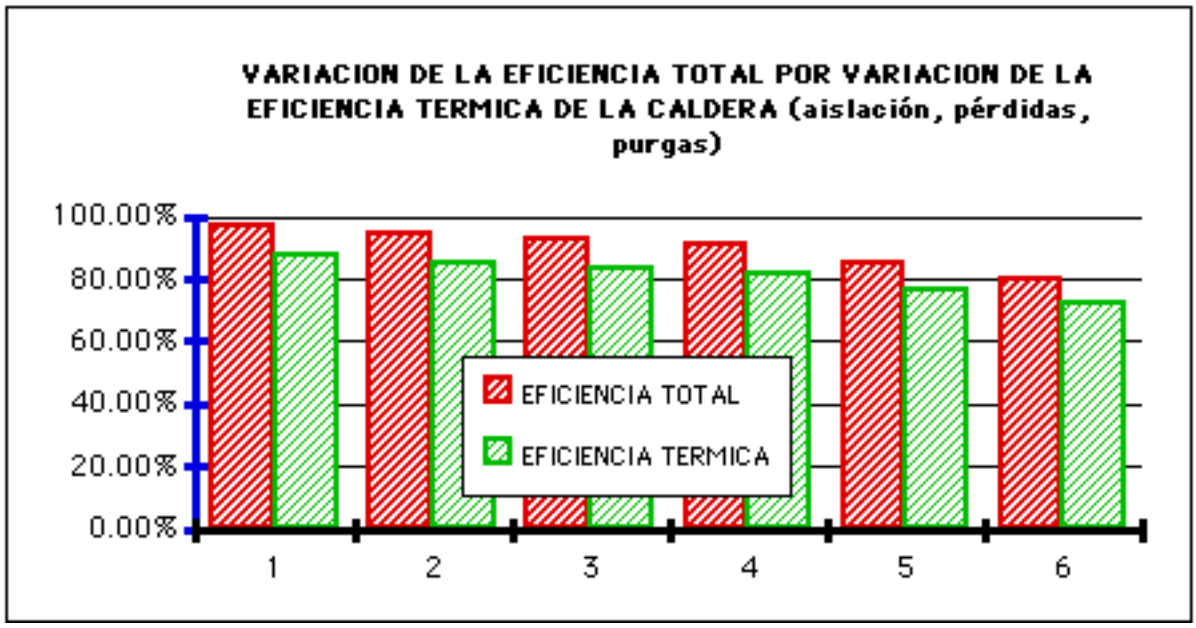
En este caso estamos considerando el **% de calor suministrado al vapor** del total de **calor que ha quedado en la caldera**. El calor que ha quedado en la caldera es el % que nos da el cálculo o medición de la **eficiencia de combustión y transferencia.**

El calor suministrado al vapor será menor debido a las pérdidas de calor por las superficies de la caldera en contacto con el aire de la sala de calderas o por su estructura, debemos agregar las pérdidas producidas por las fugas de agua caliente y vapor (considerando las purgas necesarias). Esta eficiencia, sino consideramos las pérdidas de vapor y agua (con purgas), son fijas para una misma presión, por lo que a mayor régimen de

Curso a distancia para “La generación y el uso eficiente del vapor”
año 2007

Modulo 3-ELEMENTOS QUE AFECTAN LA EFICIENCIA DE LAS CALDERAS

A menor Eficiencia como equipo térmico, disminuye la Eficiencia.



De la consideración de la **eficiencia de la combustión** y de la **eficiencia de la caldera** como equipo térmico, podemos establecer una **eficiencia total**.

La eficiencia total de una caldera está expresando en **%, el porcentaje del calor total suministrado por el combustible** (referido al P.C.S. o al P.C.I.) **que es tomado en la caldera y es transportado por el vapor**.

Para medir estas eficiencias (combustión, caldera como equipo térmico, o la eficiencia total) debemos de conocer o tomar una serie de valores que relacionaremos en expresiones matemáticas para cada caso. Estas mediciones se harán con instrumentos (medidores de gases, termómetros, manómetros, caudalímetros, etc.) y se tomarán valores de tablas (tablas de vapor, diagramas de Ostwald para gases, etc.).

Veamos una forma práctica de hacer estos cálculos, con un valor aproximado suficiente para el trabajo normal de evaluación en baja y media presión.

La Eficiencia en calderas se establece por dos métodos : Directo e Indirecto.

Eficiencia Directa (aproximado): Mida la cantidad de vapor en Kg./h (ó la cantidad de agua de alimentación menos las purgas y pérdidas en Kg./h), su presión y su temperatura, la temperatura del agua de alimentación. Al mismo tiempo mida la cantidad de combustible consumido para producir dicho vapor. De las tablas de vapor saturado tome el calor total del vapor (si no es saturado, tome una tabla de vapor sobrecalentado) y el calor del agua a la temperatura de alimentación. Usando la siguiente fórmula Ud. obtendrá la Eficiencia Total aproximada en forma directa:

$$\text{Eficiencia Total \%} = \frac{\text{Kgs.vapor/h} \times (\text{Kcal/Kg. vapor} - \text{Kcal/Kg. agua}) \times 100}{\text{Kgs. combustible/h} \times \text{Poder calorífico Kcal./Kg.}}$$

El poder calorífico que se debe de tomar es aquel al cual queremos referir la Eficiencia Total, o sea **P.C.S.** ó **P.C.I.**. (se ha despreciado la "cualidad" ó "título" del vapor saturado, es decir: el agua "arrastrada sin evaporar por el vapor").

Modulo 3-ELEMENTOS QUE AFECTAN LA EFICIENCIA DE LAS CALDERAS

la composición de los gases y la franja de temperatura de trabajo (generalmente no es menos de 0,25 Kcal/kg y no más de o,26 Kcal/kg)

T2= temperatura de los gases de chimenea en ºC .

T1 = temperatura del aire utilizado en la combustión ºC (temp. aire en la sala).

Poder calorífico (P.C.S. y P.C.I.). del combustible (Kcal/Kg).

$$\text{Eficiencia comb. P.C.S.} = 100 - \frac{[(1+Ai \times (1+A\%/100) \times Cp \times (T2-T1) + Ag \times 600] \times 100}{\text{P.C.S.}}$$

$$\text{Eficiencia comb.P.C.I.} = 100 - \frac{[(1+Ai \times (1+A\%/100)) \times Cp \times (T2-T1)] \times 100}{\text{P.C.I.}}$$

Observase que en la Eficiencia de la combustión referida al P.C.S. hemos tenido en cuenta el calor que absorbe el agua que trae el combustible al evaporarse (Ag x 600), no hemos tenido en cuenta el sobrecalentamiento de la misma, de la humedad del aire, de los gases no quemados (ya que estamos haciendo un cálculo práctico aproximado).

Veamos la cantidad mínima necesaria de **aire teórico Ai** para los combustibles usuales:

Fuel Oíl pesado.....13,22 Kg. aire por Kg. de F.Oíl
Súper gas.....15,7 Kg. de aire por Kg. de super gas.
Gas natural .....16,3 Kg. de aire por Kg. de gas natural.
La leña varía con la humedad (ya que a más humedad menos combustible)
Leña con 25% de humedad.....4,800 Kg. de aire por Kg. de leña.
Leña con 30% de humedad.....4,480 Kg. de aire por Kg. de leña.
Leña con 35% de humedad.....4,160 Kg. de aire por Kg. de leña.
Leña con 0% de humedad.....6,400 Kg. de aire por Kg. de leña.

Cáscara de arroz 10% de humedad.....4,360 Kg. de aire por Kg. de cáscara.
Cáscara de arroz 0% de humedad.....4,850 Kg. de aire por Kg. de cáscara.

Para el cálculo de Ag x 600 podemos sustituirlo por = P.C.S.- P.C.I. ya que la diferencia de los mismos es la cantidad de calor en evaporar el agua total (suponiendo que el combustible no trae agua extra después del análisis de la Bomba de Calor).

Si consideramos la **Eficiencia Total** (que es igual al calor entregado al vapor en referencia al calor entregado por el combustible) debemos de considerar la **Eficiencia de la caldera como equipo térmico** (considerando las pérdidas por la aislación, vapor y agua, purgas), ya que la caldera recibe el calor que hemos calculado en la **Eficiencia de la combustión y transferencia** (calor del combustible - calor perdido en chimenea) y entrega al vapor un calor de menor cuantía por dichas pérdidas (aislación, purgas, pérdidas de agua y vapor). Podemos establecer que la :

Eficiencia Total = Eficiencia a la Combustión x Eficiencia de Caldera (como Equipo térmico).

Con todas las eficiencias referidas al mismo poder calorífico, establecido esto, podemos decir que:
Eficiencia Total directa = Eficiencia Total indirecta.

Por lo que podemos establecer que la Eficiencia de la caldera como equipo térmico es:

Eficiencia Caldera (equipo) = Eficiencia Total dir. ÷ Eficiencia Combustión Indirecta

La Eficiencia de la caldera como equipo térmico, si no consideramos la purgas y pérdidas de vapor y agua, actualmente con los diseños de las calderas más compactas y mejor aisladas, son del entorno del 97% al 99% de la producción máxima de la caldera (esto quiere decir que cuanto más baja la producción de vapor de la caldera, esta pérdida adquiere mayor importancia, de allí que las calderas se deben elegir para trabajar al 70% de su capacidad, dejando un 30% para tomar las cargas momentáneas. Las calderas antiguas, con mucha estructura, refractarios y poca aislación o mala, tenían pérdidas del orden del 15% al 10%, de allí que fueran candidatas a su sustitución por las calderas modernas (ya que esta pérdidas muchas veces era el valor de una caldera nueva que se pagaba en un año).

Cálculo Ahorro de combustible : (mejorando la combustión)

El ahorro de combustible, suponiendo que es la misma caldera, su Eficiencia como equipo térmico permanecerá igual, el ahorro se puede medir y calcular midiendo la Eficiencia a la combustión y trans. (midiendo

Modulo 3-ELEMENTOS QUE AFECTAN LA EFICIENCIA DE LAS CALDERAS

Total), mientras que en el P.C.S. el agua se supone condensada (a 0ºC) midiendo todo el calor disponible.

Fuel Oíl Pesado (Nº6)..... P.C.S. =10.300 Kcal./Kg. P.C.I. = 9.700 Kcal./Kg.
Súper gas (garrafas)..... P.C.S. =12.800 Kcal./Kg. P.C.I. =11.800 Kcal./Kg.
Gas natural..... P.C.S. = 12.290 Kcal/Kg. P.C.I. = 11.100 Kcal/Kg.

Este valor para el gas natural, responde al ramal Paysandú (junio 2000), los valores deben ser tomados de la información del ramal correspondiente (según procedencia).

El volumen tomado por el **gas natural**, generalmente es referido al m3. a una temperatura de 15ºC y 1 atmósfera de presión. Su **gravedadespecífica** respecto al aire (aprox. 0,62) o su peso por m3.-densidad- a una temperatura de 15ºC y 1 atmósfera de presión, aprox. **0,76 Kg/m3**). Lo que podemos establecer un P.C.S. de 9.400 Kcal/m3 y un P.C.I. de 8.490 Kcal/m3 en las condiciones de presión y temperatura antes dicha. Estos valores varían de acuerdo a la zona de extracción del gas y al tratamiento del mismo.

La leña como tiene distintas humedades, el poder calorífico dependerá del % de humedad de la misma no solo por el agua que forma y trae, sino por el % de materia que es ocupada por el agua (si la humedad es el 40% , la materia seca será el 60% - con su agua de formación - ésta agua y el 40% será el agua a evaporar).

Leña de eucaliptos:

Humedad 0% (totalmente seca) P.C.S. = 4.685 Kcal/Kg. P.C.I.= 4.300 Kcal/Kg.

La humedad mínima de la leña que se logra en la práctica es de 20% después de 1 año, pero lo normal es del 25% (más de 6 meses de estacionamiento).

Humedad 25%.....P.C.S. = 3.510 Kcal./Kg. P.C.I. = 3.080 Kcal./Kg.
Humedad 30%.....P.C.S. = 3.280 Kcal./Kg. P.C.I. = 2.830 Kcal./Kg.
Humedad 35%.....P.C.S. = 3.045 Kcal./Kg. P.C.I. = 2.590 Kcal./Kg.
Humedad 41%.....P.C.S. = 2.760 Kcal./Kg. P.C.I. = 2.290 Kcal./Kg.
Cáscara de arroz 10%.....P.C.S. = 3.100 Kcal./Kg. P.C.I. = 2.800 Kcal./Kg.

Cuando la leña se corta en los montes de eucaliptos la humedad supera el 60%

La humedad la estamos dando en base húmeda (% H b.h.) es decir, tomada una cantidad de leña, pesada (Ph) , secada en una estufa a baja temperatura (unos 105ºC) hasta peso constante y pesada nuevamente la cantidad anterior (Ps), el % de humedad es de acuerdo a este cálculo:

$$\% H \text{ b.h.} = [(Ph - Ps) \div Ph] \times 100$$

Tener cuidado con la humedad dada en base seca (% H b.s.) (que usan los madereros) que es igual :

$$\% H \text{ b.s.} = [(Ph - Ps) \div Ps] \times 100$$

En caso que nos dan la humedad en base seca (% H b.s.) podemos hacer la conversión de base seca a base húmeda:

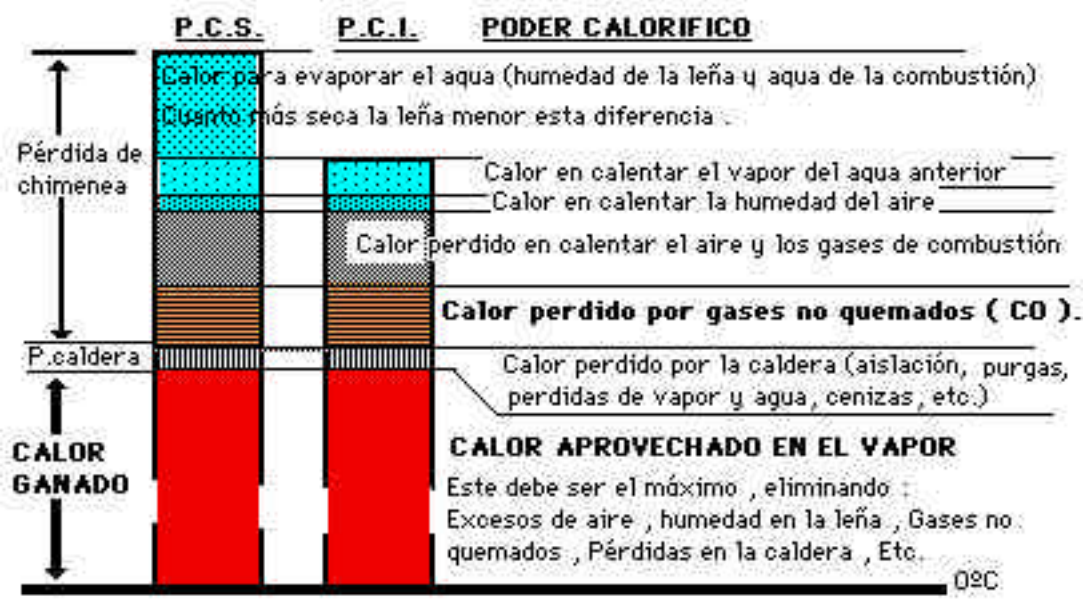
$$\% H \text{ b.h.} = [\% H \text{ b.s.} \div (\% H \text{ b.s.} + 100)] \times 100$$

Ejemplo: una leña con una humedad en base seca de % H b.s.= 25%, aplicando lo anterior % H b.h. = 25 / (25 +100) x 100 = 20% H b.h.. Las dos humedades significan lo mismo, pero se expresan en cantidades diferentes, por eso hay que hacer la aclaración a cual base están referidas.

Cuadro comparativo al tomar los poderes caloríficos superior e inferior

Curso a distancia para “La generación y el uso eficiente del vapor”
año 2007

Modulo 3-ELEMENTOS QUE AFECTAN LA EFICIENCIA DE LAS CALDERAS


P.C.S.
P.C.I.
PODER CALORIFICO
Calor para evaporar el agua (humedad de la leña y agua de la combustión)
Cuanto más seca la leña menor esta diferencia .
Pérdida de chimenea
Calor en calentar el vapor del agua anterior
Calor en calentar la humedad del aire
Calor perdido en calentar el aire y los gases de combustión
Calor perdido por gases no quemados (CO).
P.caldera
Calor perdido por la caldera (aislación, purgas, perdidas de vapor y agua, cenizas, etc.)
CALOR GANADO
CALOR APROVECHADO EN EL VAPOR
Este debe ser el máximo , eliminando :
Excesos de aire , humedad en la leña , Gases no quemados , Pérdidas en la caldera , Etc.
0ºC

Véase que la cantidad absoluta del calor aprovechado en el vapor es la misma en ambos casos, varía el % referido a cada uno al no tener en cuenta en el P.C.I. el calor de evaporación del agua (de humedad y combustión). En apariencia el % de la eficiencia al P.C.I. es mayor que la dada con el P.C.S. pero al referirla al calor absoluto aprovechado en el vapor es igual. Vemos en este caso el de la leña.

En resumen:
Para mejorar cada una de las eficiencias estudiadas se debe hacer lo siguiente:

Para mejorar eficiencia de la combustión: Disminuir al máximo el exceso de aire necesario para la combustión y las penetraciones de aires por juntas o filtraciones de la estructura de la caldera, disminuir las pérdidas por gases no quemados mejorando las condiciones de combustión (atomización, temperatura del combustible y aire, mezcla de combustible y aire, humedad del combustible, temperatura de la combustión o zona donde se produce la combustión, etc.), limpieza de superficies de transferencia térmica (El hollín y la ceniza son muy aislantes, se deben de limpiar los tubos y hogares en forma periódica. Mantener la superficies del lado del agua y vapor limpia de incrustaciones y barros aislantes, haciendo un correcto tratamiento químico. Aprovechar al máximo la superficie de transferencia del hogar ajustando la llama en el lugar correcto para la finalización de su combustión, etc.).

Para mejorar eficiencia de la caldera como equipo térmico: en este caso debemos de buscar la forma que la caldera no pierda calor a la sala de caldera por la aislación y su estructura, no permitir fugas de agua o vapor (por los vástagos de las válvulas, tapillas, empaquedaduras de bombas, etc.), buscar la mejor calidad de agua para evitar el purgar % altos (retornar el máximo de condensado, hacer el tratamiento químico interno adecuadamente, etc) o de lo contrario usar al máximo la purga continua con recuperación del calor por medio de intercambiadores.

Cualquiera de las mejoras anteriores repercutirá en la mejora de la Eficiencia total.
Recuerde de referirse a las eficiencias para un mismo poder calorífico (**P.C.S. o P.C.I.**), ya que si bien las cantidades expresadas como % son numéricamente diferentes, no así al significado al referirse a cada poder calorífico, evitando que su interpretación numérica se preste a confusión.